

京都大学大学院 学生員 田村 知子
 京都大学工学部 正員 米田 稔
 京都大学工学部 正員 井上 頼輝

1 はじめに

透水係数の測定方法のうち単孔式原位置透水試験（以下、単孔式試験と呼ぶ）による測定値については、他の試験方法で得られた値と比べて小さいことが多く、その値の信頼性は低い。例えば揚水試験法と比較して1,2オーダー以上も小さい値が得られることがある¹⁾。本研究では、透水係数の水平方向の非等方性がその一要因ではないかと考え、非等方性の発生の可能性についての定性的な室内実験を行う一方、数値シミュレーションによって水平方向の非等方性が存在する場合の単孔式試験への非等方性の影響について検討した。

2 被圧帯水層における透水係数の非等方性の発生の可能性に関する実験

本実験では、水平面内において主としてある一方向に水が流れ、その垂直方向には流れにくいような土壌構造の発生の可能性について検討した。そこで、模擬被圧帯水層の一つの方向（x方向）にのみ継続的に水を流し、その間その方向とその垂直方向の流出率を適宜調べた。実験装置を図1に示す。①初期状態において、x方向、y方向それぞれのマンメーターのゼロ点の位置を測定する ②ある時間継続してx方向に流し続ける ③x方向の流出率を測定した後x方向の流れを止め、y方向に流してy方向の流出率を測定する ④②③を繰り返す。以上①～④の手順で行った。試料砂の粒径加積曲線を図2に示す。

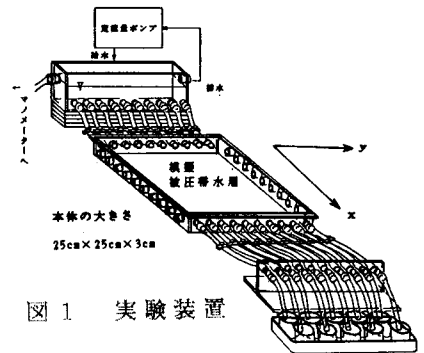


図1 実験装置

出入口をそれぞれ中央の1本だけ開けて実験を行った場合について、単位水頭差当たりの流出率の経時変化を図3に示した。x方向についてはシルト分が流下方向に移動し目づまりを起こすためか、徐々に単位水頭差当たり流出率が減少しているが、y方向については途中極めて流れにくい状態が存在している。これらの流れやすさ、つまり透水係数の変化は規則性を持ったものでなく、どのような場合にこのような透水係数の変化が現れるのか明らかでないが、地下水の流下に起因してそれぞれの方向の透水係数が異なることはありうると考えられる。

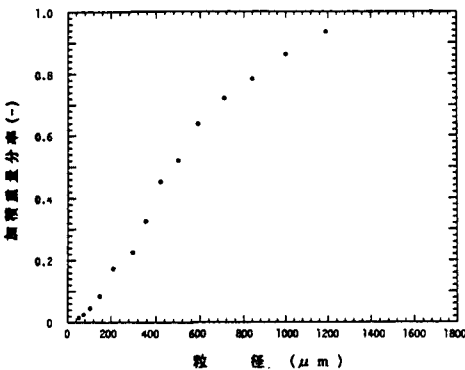


図2 試料砂の粒径加積曲線

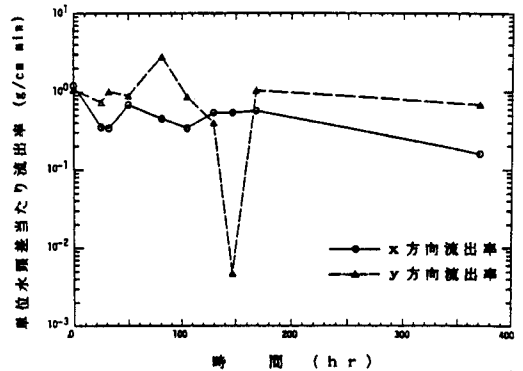


図3 流出率の経時変化

3 非等方性被圧帯水層における単孔式試験の数値シミュレーション

透水係数の非等方性が存在する場合、単孔式試験による透水係数の推定値について、2次要素を用いた Galerkin有限要素法で数値シミュレーションを行った。解析は被圧帯水層における完全貫入の場合について、孔径10cm、半径約20mの大きさの場を想定し行った。基礎式は、

$$L S \frac{\partial h}{\partial t} = L K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + L K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad (1) \quad q_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x}, \quad q_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2)$$

ここに、 h ;水位、 t ;時間、 q_x, q_y ;単位面積当たり流量の x 成分、 y 成分、 S ;比貯留係数、 K_x, K_y ; x, y 方向の透水係数、 L ;帯水層厚さ(1m)である。初期条件として水位は場全体で一様に与え、孔内の水位だけを瞬時に引き下げた。孔内の水位はそれまでに流入した水量に従って上昇、回復する。 K_x, K_y, S のパラメーターに種々の値を代入し数値シミュレーションによって得られた孔内水位の経時変化と次のBouwerとRiceの式²⁾を用いて、単孔式試験による透水係数値を求め、パラメーターとして与えた元の数値と比較する。

BouwerとRiceの式は、

$$K = \frac{r_0^2 \ln(Re/r_0)}{2L(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3)$$

ここに、 K ;透水係数の推定値、 r_0 ;孔径、 L ;帯水層厚さ、 Re ;影響圏の大きさ、 h_1, h_2 ;時刻 t_1, t_2 における水位、である。 Re の大きさは r_0 の200倍とした。

$S = 1.0 \times 10^{-8} (\text{cm}^{-1})$ とし、 K_x を 1.0×10^{-2} または $1.0 \times 10^{-3} (\text{cm/sec})$ のいずれか一定にしたまま K_y を変化させた場合の透水係数の推定値 K の変化を図4に示す。また、 $K_x = K_y = 1.0 \times 10^{-2} (\text{cm/sec})$ の場合と $K_x = 1.0 \times 10^{-2} (\text{cm/sec})$ 、 $K_y = 1.0 \times 10^{-3} (\text{cm/sec})$ の場合について、水位の経時変化を図5に示す。

図4では K_x が一定のまま K_y を変化させた。今、地下水が主として x 方向に流れているとすると、透水係数の推定値を用いて地下水流量などを推定するためには、 K_y の値が小さくなった場合でも、透水係数の推定値としては主として流れている方向の透水係数 K_x が得られるべきである。しかし、図4では K_y の値が小さくなるにつれて透水係数の推定値は過小評価されることを示している。 K_y の値が K_x より2オーダー小さいと透水係数の推定値は1オーダー小さくなり、実際そのような条件が存在すれば、過小評価の一つの原因となることが考えられる。またこの図では、 K_x と K_y の値が等しい場合、推定値としてもそれに近い値が得られていることを示している。図5では、透水係数が等方性の場合に比べ、非等方性の場合には $\log h$ と時間が直線にならず、(3)式から求めた透水係数推定値自体がばらつく可能性もあると思われる。

4 まとめ

本研究では単孔式試験による透水係数の推定値の過小評価の一要因として透水係数の水平方向の非等方性を考え、非等方性の発生機構に関する定性的な室内実験を行ってその発生の可能性を示した。また、2次要素を用いたGalerkin有限要素法による数値シミュレーションにより、透水係数の非等方性が実際に存在すれば透水係数の推定値の過小評価の原因となることを示した。

参考文献: 1) 西垣;単孔式原位置透水試験法の整理,地下水と井戸とポンプ,第28巻第2号,pp.11-23,1986.

2) 地下水ハンドブック編集委員会編;地下水ハンドブック,建設産業調査会,1979.

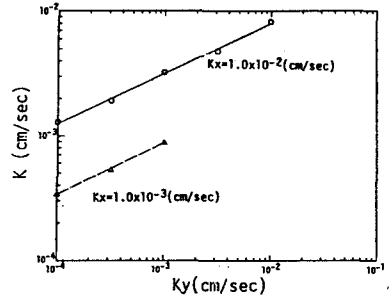


図4 K_x が一定の時の K_y と K との関係

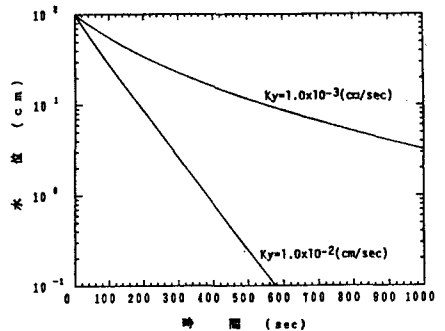


図5 水位の経時変化
[$K_x = 1.0 \times 10^{-2} (\text{cm/sec})$]